2023, Vol.10, No.1, Pages 37 to 44
Journal of Water and Sustainable Development

سال دهم، شماره ۱، ۱۴۰۲، صفحات ۳۷ تا ۴۴
نشریه آب و توسعه پایدار

Article Type: Applied Article

نوع مقاله: پژوهش کاربردی

Investigating the Impacts of Climate Change on Water Security in Iran

A. Zarrin[1*], A.A. Dadashi-Roudbari[2]

1, 2- Associate Professor and Postdoctoral Researcher in Climatology, Department of Geography, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

*(Corresponding Author Email: zarrin@um.ac.ir)

Received: 30-01-2023 Revised: 12-05-2023
Accepted: 12-05-2023 Available Online: 20-06-2023

بررسی پیامدهای تغییر اقلیم بر امنیت آبی در ایران

آذر زرین[1*]، عباسعلی داداشی رودباری[2]

۱و۲- دانشیار و پژوهشگر پسادکتری اقلیم شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

*(نویسنده مسئول، E-Mail: zarrin@um.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۱۰ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۲/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۲۲ تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۳/۳۱

Abstract

Water security includes sustainable use and protection of water systems, protection against water-related hazards, sustainable development of water resources, and preservation of water functions and services for humans and the environment. To investigate water security in the past decades, the WSIM-GLDAS water security model was used, and for assessing available water storage, the GRACE satellite data were employed. Then, a multi-model was analyzed using CMIP6 models to investigate future changes in temperature and potential evapotranspiration (PET) over the country's medium-scale under SSP scenarios. The results showed a decreasing trend in available water storage over the past two decades in Iran. The outcome of the water security model indicated a negative return period of water scarcity across the country. The lowest value of WSIM is -10.1 which is seen in the eastern and central regions of Iran, indicating the low water security of these areas. Climate projections show a significant increase in temperature (0.78 oC/decade under the SSP5-8.5 scenario) and evapotranspiration (153.5 mm/decade under the SSP5-8.5 scenario) in the country. To increase water security, it is necessary to take effective adaptation strategies, the purpose of which is to increase the water storage capacity in the soil (green water) and reduce soil erosion in order to increase the quality of the soil and maintain the storage capacity of reservoirs (blue water). Therefore, the adaptation strategies to climate change and its effect on water redistribution from green water to blue water, and the long-term socio-economic consequences of climate change should be considered in future climate plans of Iran.

Keywords: Water Security, WSIM Model, GRACE Satellite, Climate Change, Iran.

چکیده

امنیت آبی شامل استفاده پایدار و حفاظت از سامانه‌های آبی، حفاظت در برابر مخاطرات مرتبط با آب، توسعه پایدار منابع آب و حفاظت از عملکردها و خدمات آب برای انسان و محیط‌زیست است. جهت بررسی امنیت آبی در دهه‌های گذشته از مدل امنیت آبی WSIM-GLDAS و جهت بررسی آب ذخیره در دسترس از داده‌های ماهواره GRACE استفاده شد. سپس یک مدل همادی با استفاده از مدل‌های CMIP6 تولید و تغییرات آینده دما و تبخیر-تعرق پتانسیل (PET) در متوسط پهنه‌ای کشور تحت سناریوهای SSP بررسی شد. نتایج نشان داد آب ذخیره در دسترس طی دو دهه گذشته در ایران روند کاهشی داشته است. برونداد مدل امنیت آبی نشان داد دوره بازگشت کمبود آب در کل کشور منفی است. پایین‌ترین مقدار با ۱۰/۱- در نیمه شرقی و مناطق مرکزی کشور دیده می‌شود که نشان‌دهنده امنیت آبی پایین در این مناطق است. پیش‌نگری‌های اقلیمی نشان از روند افزایشی قابل توجه دما (۰/۷۸ درجه سلسیوس/دهه تحت سناریو SSP5-8.5) و تبخیر-تعرق (۱۵۳/۵ میلی‌متر/دهه تحت سناریو SSP5-8.5) در کشور دارد. برای افزایش امنیت آبی نیاز به اتخاذ استراتژی‌های سازگاری مؤثری است که هدف از آن افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک (آب سبز) و کاهش فرسایش خاک به‌منظور افزایش کیفیت خاک و حفظ ظرفیت ذخیره‌سازی مخازن (آب آبی) است. بنابراین در برنامه‌های آینده کشور باید استراتژی‌های سازگاری با تغییر اقلیم و تأثیر آن بر توزیع مجدد آب از آب سبز به آب آبی و پیامدهای بلندمدت اجتماعی-اقتصادی تغییر اقلیم در نظر گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: امنیت آب، مدل WSIM، ماهواره GRACE، تغییر اقلیم، ایران.

How to cite this article: Zarrin A. and Dadashi-Roudbari A.A. 2023. Investigating the Impacts of Climate Change on Water Security in Iran. Journal of Water and Sustainable Development, 10(1): 37-44. doi: http://dx.doi.org/10.22067/jwsd.v10i1.2301-1210

مقدمه

نحوه مدیریت و مصرف آب اصل اساسی سازگاری با تغییر اقلیم است. پیامدهای تغییر اقلیم عمدتاً از طریق کاهش معنی‌دار یا قابل توجه مقدار آب آشکار شده و با تغییر در فراوانی و شدت رخدادهای فرین اقلیمی همراه هستند. این پیامدها در دو دسته اصلی آب بسیار کم (خشکسالی، کمبود آب) و آب زیاد (سیل) قرار می‌گیرند (Babel و همکاران، ۲۰۲۰).

تامین آب کافی برای جمعیت در حال رشد یکی از چالش‌های مهم در سال‌های اخیر است. رشد جمعیت و تغییر اقلیم دو عامل اساسی بحران جهانی آب هستند (Mishra و همکاران، ۲۰۲۱). بیش از ۱/۱میلیارد نفر در سراسر جهان دسترسی ناکافی به آب آشامیدنی سالم دارند و تقریباً ۲/۶ میلیارد نفر فاقد امکانات اولیه آب شرب بهداشتی هستند (Chellaney، ۲۰۱۱). تنش آبی به ویژه در کشورهای در حال توسعه به سرعت در حال افزایش است. افزایش ریسک‌های مرتبط با آب موضوع مهم دیگری در سطح جهان است. خسارات اقتصادی ناشی از بلایای مرتبط با آب مانند سیل، خشکسالی، رانش زمین و فرونشست زمین در سال‌های اخیر به طور چشمگیری افزایش یافته است. از سوی دیگر تغییر اقلیم، تغییرات کاربری اراضی، شهرنشینی، الگوهای مهاجرت، مشکلات انرژی و امنیت غذایی ناشی از تغییرات جمعیتی و توسعه اقتصادی می‌توانند خطرات حوزه آب را تشدید کنند.

برنامه جهانی ۲۰۳۰ اهداف اختصاصی برای آب (SDG 6)[1] و همچنین تغییر اقلیم (SDG 13) دارد و بر پیوند تغییر اقلیم و آب تأکید ویژه‌ای دارد. پرداختن به مسائل مربوط به آب به دلیل نقش غیر قابل انکار تغییر اقلیم مستلزم بررسی دقیق و بهبود جوانب مرتبط با امنیت آب است. از امنیت آب تاکنون تعاریف مختلفی ارائه شده است. UN-Water[2] (۲۰۱۳) امنیت آب را اینگونه تعریف می‌کند: «ظرفیت جامعه برای دسترسی پایدار به مقادیر کافی آبِ با کیفیت و قابل قبول برای حفظ معیشت، رفاه انسانی و توسعه اجتماعی-اقتصادی، یا تضمین حفاظت آب در برابر آلودگی و بلایای مرتبط با آن به‌منظور حفظ اکوسیستم‌ها در فضای صلح و ثبات سیاسی» (Water Resources Group 2030، ۲۰۰۹). بر اساس این تعریف ایجاد جامعه‌ای با امنیت آبی یکی از اولویت‌های اصلی دولت‌ها و سیاست گزاران در سراسر جهان است. امنیت آبی یک عنصر حیاتی در دستور کار علم و سیاست عصر معاصر است و در سال‌های اخیر مورد توجه فزاینده‌ای قرار گرفته است. به‌طوری‌که جامعه اطلاعاتی ایالات متحده آمریکا (ICA)[3] در یکی از گزارش‌های خود بیان کرد «زمانی که مردم معتقدند کمبود آب نتیجه حکمرانی ضعیف، احتکار، یا کنترل آب توسط دولت یا حاکمان جامعه است»، اعتراضات اجتماعی که می‌تواند جامعه را بی‌ثبات کند، ممکن است رخ دهد (Intelligence Community Assessment، ۲۰۱۲). لذا مسئله امنیت دسترسی پایدار به منابع آب نقش تعیین کننده‌ای در حوزه‌های مختلف از جمله اعتراضات اجتماعی و امنیت ملی می‌تواند داشته باشد.

به دلیل کمبود مطلق آب و وابستگی شدید به منابع آبی فرامرزی، آب در کشورهای غرب آسیا و شمال آفریقا (MENA)[4] به‌عنوان بخشی جدایی ناپذیر از امنیت ملی و ثبات سیاسی تلقی می‌شود (Zawahri، ۲۰۱۷). غرب آسیا و شمال آفریقا دارای بیشترین تنش آبی در جهان هستند. منطقه مِنا (MENA) با ۶ درصد جمعیت جهان، کمتر از ۲ درصد از منابع آب شیرین تجدیدپذیر سیاره زمین را در اختیار دارد (World Bank، ۲۰۰۷). پرداختن به بحران آب در غرب آسیا و به‌ویژه ایران بسیار پیچیده است. بحران آب در ایران را می‌توان به رشد جمعیت، توسعه اجتماعی-اقتصادی، مدیریت ناکارآمد منابع آب بخصوص در بخش کشاورزی و تغییر اقلیم مرتبط دانست که این بحران را تشدید کرده‌اند. بر اساس نتایج Zawahri (۲۰۱۷)، منطقه غرب آسیا و شمال آفریقا تا سال ۲۰۳۰ افزایش دما (بین ۱ تا ۲ درجه سلسیوس و افزایش به ۳ درجه سلسیوس تا سال ۲۰۶۵) و کاهش بارش (بین ۱۰ تا ۲۰ درصد) را دارند که در چنین شرایطی شاهد افزایش میزان تبخیر همراه با خشکسالی‌های مکرر و طولانی مدت خواهیم بود. لذا پرداختن به مسئله آب، امنیت آبی و تغییر اقلیم باید اساس برنامه‌های کشور در آینده نزدیک باشد.

در چند سال گذشته، پژوهش‌های بسیاری برای بهبود مسائل مرتبط با امنیت آبی صورت گرفته است. این مطالعات آب و امنیت آبی را از منظرهای گوناگونی مورد بررسی قرار داده‌اند که می‌توان به پژوهش‌های انجام شده در کشور چین (Jianyun و همکاران، ۲۰۰۹)، غرب آسیا (Hameed و همکاران، ۲۰۱۹)، مناطق روستایی آفریقای جنوبی (Patrick، ۲۰۲۰)، شهر بانکوک (Babel و همکاران، ۲۰۲۰) و شبه جزیره ایبری (Fonseca و همکاران، ۲۰۲۲) اشاره کرد. به‌طور کلی نتایج مطالعات نشان دادند که تغییرات جهانی مانند شهرنشینی، رشد جمعیت، تغییرات کاربری اراضی، کشاورزی سنتی، تغییرات اجتماعی-اقتصادی، انرژی و تغییر اقلیم فشار بی‌سابقه‌ای را بر منابع آب وارد کرده‌اند. در ایران نیز امنیت آبی از جنبه‌های مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است. برای نمونه مالکی و همکاران (۱۴۰۰) با بررسی امنیت آبی استان‌های ایران در بازه ۱۳۹۰-۱۳۹۵ به این نتیجه رسیدند مناطق مرکزی و جنوب شرقی و شرقی ایران مشکلات بیشتری دارند. اسماعیلی نژاد و داوری (۱۳۹۹) معتقد هستند که نظام‌نامه تخصیص آب در ایران نیاز به اصلاحاتی دارد تا علاوه‌بر در نظر گرفتن اهداف مهم پایداری و بهره‌وری آب در نظام‌نامه تخصیص آب، چارچوب دقیقی برای تخصیص آب و کنترل برداشت تعیین شود. بررسی مطالعات انجام شده از امنیت آبی نشان می‌دهد که تاکنون در ایران این مسئله به شکل کمی و با استفاده از مدل‌های عددی مورد بررسی قرار نگرفته است.

چارچوب بندی چالش‌های امنیت آبی فراتر از شاخص‌های تک

موضوعی مانند تنش آبی است. بنابراین یک پارادایم جدید مورد نیاز است که راه حل‌های جایگزین را برای دستیابی به امنیت آبی در نظر بگیرد. این مقاله امنیت آبی را با کاربست مدل امنیت آبی- سامانه جهانی داده‌گواری داده‌های زمینی (WSIM-GLDAS)[5] مورد بررسی قرار داده است و مسئله امنیت آبی را به شکل کمی برای کل ایران ارائه می‌کند. هدف از این مقاله بررسی تغییرات شاخص امنیت آبی در ایران و سپس ارائه پیش‌نگری از اقلیم آینده ایران است. دستاوردهای این مطالعه می‌تواند منجر به ارائه پارادایم‌های نوظهور ارزیابی امنیت آبی و در نهایت جستجوی راه‌حل‌های پایدار برای دستیابی به امنیت آبی در برنامه هفتم توسعه ایران باشد.

روش تحقیق

• منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه این تحقیق کشور ایران در جنوب غربی آسیا است. ایران کشوری با اقلیم غالب خشک و نیمه‌خشک است که این ویژگی اقلیمی باعث شده است تا آب از دیرباز در این سرزمین یک مسئله جدی باشد. بر اساس آمار رسمی مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی (۱۴۰۰) بر اساس اضافه برداشت از منابع آب زیر زمینی، حجم کسری آبخوان‌های کشور به بیش از ۱۳۶ میلیارد مترمکعب و متوسط افت سالانه آبخوان‌های کشور به ۵۵ سانتی‌متر رسیده است. در حال حاضر ۴۱۰ دشت از ۶۰۹ دشت کشور به‌عنوان دشت ممنوعه یا ممنوعه بحرانی دسته‌بندی شده‌اند (مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، ۱۴۰۰). براساس پیش‌بینی‌ها در افق ۱۴۲۰ با فرض جمعیت ۱۰۶ میلیون نفری و در دسترس بودن ۱۰۳ میلیارد مترمکعب آب تجدیدپذیر، سرانه آب هر نفر به ۹۷۶ مترمکعب در سال می‌رسد که بیانگر وضعیت بحران آبی در کشور است.

• مدل امنیت آبی-سامانه جهانی داده‌گواری داده‌های زمینی (WSIM-GLDAS)

مدل امنیت آبی-سامانه جهانی داده‌گواری داده‌های زمینی (WSIM-GLDAS)، نسخه ۱ از مجموعه داده سامانه جهانی داده‌گواری داده‌های زمینی (GLDAS) (Rodell و همکاران، ۲۰۰۴) است که در بازه زمانی ژانویه ۱۹۴۸ تا دسامبر ۲۰۱۴ توسعه داده شده است (Yeates و همکاران، ۲۰۲۰). مدل WSIM با تفکیک افقی ۰/۲۵ درجه قوسی به شکل ماهانه ارائه شده است. فرض اصلی مدل WSIM این است که جوامع فعالیت‌ها و نیازهای خود برای دسترسی به آب را تا حدی براساس شرایط اقلیمی مورد انتظار سازگار می‌کنند و می‌توانند این فعالیت‌ها و نیازها را زمان‌بندی و حفظ کنند. بااین‌حال، تغییرات در شرایط اقلیمی و نیازهای جامعه به آب بیش از آنچه که در گذشته تجربه شده است، ممکن است جوامع را در آینده مجبور به واکنش غیرعادی کند. همچنین باید توجه داشت رابطه بین تنش‌های اقلیمی، فعالیت‌های اجتماعی-اقتصادی و دسترسی به آب بسیار پیچیده است. چنین ارتباطی و هرگونه تغییر در آن می‌تواند باعث بروز اختلافات داخلی یا فراملی آب، کاهش محصولات کشاورزی، کمبود برق، جابه‌جایی جمعیت، شیوع بیماری‌های عفونی یا بی‌ثباتی سیاسی شود. داده‌های این مدل بر حسب دوره‌های بازگشت با روش توزیع فرین تعمیم یافته (GEV)[6] محاسبه شده است. به‌کارگیری دوره‌های بازگشت امکان بررسی شدت کمبود یا مازاد دسترسی به آب را باتوجه‌به سابقه هیدرولوژیکی تاریخی در منطقه فراهم می‌کند که مقایسه بهتر در سطح جهانی را نیز ممکن می‌سازد. در این پژوهش از شاخص کمبود آب داده‌های WSIM-GLDAS طی دوره آماری ۱۹۴۸ تا ۲۰۱۴ استفاده شده است. بی‌هنجاری مدل نسبت به یک دوره پایه از ژانویه ۱۹۵۰ تا دسامبر ۲۰۰۹ برای هر نقطه شبکه (۰/۲۵ درجه قوسی) به شکل جداگانه محاسبه شده است.

• محصول ذخیره آب در دسترس زمینی[7] از ماهواره بازیابی گرانش و آزمایش اقلیم (GRACE)[8]

برای بررسی آب ذخیره در دسترس در ایران به عنوان یک شاخص مهم امنیت آبی از داده‌های جهانی ماهواره بازیابی گرانش و آزمایش اقلیم (GRACE) طی دوره ۲۰۱۶-۲۰۰۲ با تفکیک افقی ۰/۵ درجه قوسی استفاده شده است. آب ذخیره در دسترس (که معمولاً در اصطلاح دسترسی به آب شیرین نیز به آن گفته می‌شود) شامل مجموع آب‌های زیرزمینی، رطوبت خاک، برف و یخ، آب‌های سطحی و زیست توده مرطوب است که به‌صورت ارتفاع معادل آب بیان می‌شود. خروجی این محصول آهنگ تغییرات اندازه‌گیری شده آب ذخیره در دسترس بر حسب سانتی‌متر در سال است (Rodell و همکاران، ۲۰۱۸). ماهواره GRACE تغییرات چرخه آب زمینی را در میدان گرانش زمین اندازه گیری می‌کند. این ارزیابی مبتنی بر مشاهدات ماهواره‌ای از چگونگی واکنش چرخه آب جهانی به اثرات انسان و تغییر اقلیم است که ابزار مهمی در ارزیابی و پیش‌بینی تهدیدهای نوظهور برای امنیت آب و غذا را فراهم می‌کند.

• تولید مدل همادی از مدل‌های منفرد CMIP6[9]

پروژه مقایسه مدل‌های جفت شده فاز ششم (CMIP6) آخرین نسل از مدل‌های CMIP است که جایگزین CMIP5 شده است. در این پژوهش، از پنج مدل مشارکت یافته در این پروژه شامل مدل‌های GFDL-ESM4، IPSL-CM6A-LR، MPI-ESM1-2-HR، MRI-ESM2-0 و UKESM1-0-LL از اجرای اول (r1i1p1f1) برای بررسی تغییرات دما و تبخیر-تعرق پتانسیل (PET)[10] استفاده شده است. برای محاسبه تبخیر-تعرق پتانسیل (PET) از روش پنمن-مونتیث فائو استفاده شد. مدل‌های منفرد[11] از عدم قطعیت قابل توجهی

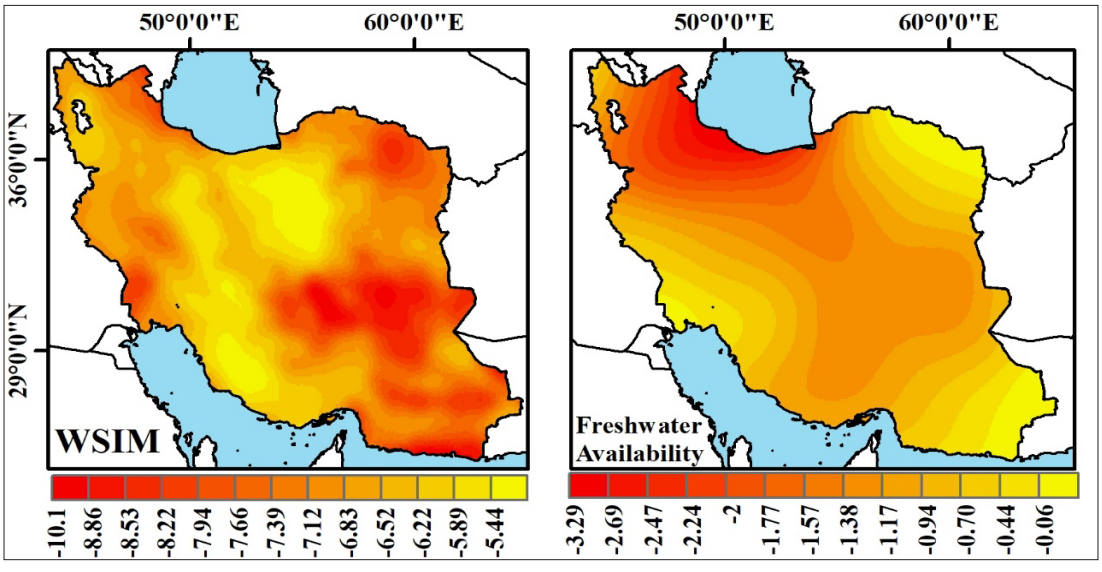
نسبت به مدل همادی[12] برخوردار هستند. مدل همادی مجموعه‌ای از چندین مدل اقلیمی است که برای پیش‌بینی/پیش‌نگری اقلیمی از آن استفاده می‌شود. در مدل همادی به‌جای استفاده از برونداد یک مدل اقلیمی واحد، مجموعه‌ای از چندین مدل بر اساس یک وزن از پیش تعریف شده با یکدیگر ترکیب می‌شوند. مدل همادی عدم قطعیت را به شکل قابل توجهی نسبت به مدل‌های منفرد کاهش می‌دهد (Crawford و همکاران، ۲۰۱۹). بر این اساس روش‌های مختلفی برای تولید مدل همادی توسعه داده شده است که از جمله این روش‌ها می‌توان به روش میانگین وزنی مستقل (IWM)[13] اشاره کرد (Bai و همکاران، ۲۰۲۱؛ زرین و داداشی رودباری، ۱۴۰۰). در این پژوهش برای تولید چند مدلی همادی (MME)[14] از مدل‌های منفرد CMIP6 از روش IWM استفاده شده است. روش IWM ترکیب خطی یک مجموعه از شبیه‌سازی‌های مدل است که میانگین اختلاف مربع (MSD) را باتوجه‌به مشاهدات به حداقل می‌رساند و وابستگی بین مدل‌های تعریف شده را با استفاده از کوواریانس خطاهای مدل نشان می‌دهد (زرین و داداشی رودباری، ۱۴۰۰). سناریوهای SSP1-2.6، SSP3-7.0 و SSP5-8.5 (به‌ترتیب معرف سناریوی خوش‌بینانه، بدبینانه و خیلی بدبینانه) برای پیش‌نگری دما و تبخیر-تعرق پتانسیل (PET) تحت شرایط تغییر اقلیم در سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۱۰۰ استفاده شدند.

نتایج و بحث

آب ذخیره در دسترس در سراسر جهان در حال تغییر است (Rodell و همکاران، ۲۰۱۸). روند آب ذخیره در دسترس با داده‌های ماهواره بازیابی گرانش و آزمایش اقلیم (GRACE) طی سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۶ بررسی شد. نتایج نشان داد روند آب ذخیره در دسترس در ایران طی ۱۵ سال گذشته که داده‌های ماهواره GRACE در دسترس بوده کاهش داشته است. آب ذخیره در دسترس در مناطق شمالی، غرب و شمال غرب ایران با ۳/۲۹- سانتی متر در سال بیش از سایر مناطق کشور، بی‌هنجار بوده است. کاهش آب ذخیره در دسترس در غرب آسیا با استفاده از داده‌های GRACE توسط مطالعات قبلی اندازه‌گیری و تایید شده است (Rodell و همکاران، ۲۰۱۸). روند سراسر منفی این متغیر در ایران طی دو دهه گذشته با ساخت سدهای متعدد در بالادست رودخانه‌ها باعث کاهش جریان رودخانه شده است. این امر همراه با خشکسالی طولانی مدت سبب وابستگی بیش از حد به آب‌های زیرزمینی برای رفع نیازهای خانگی و کشاورزی شده است که تا حد زیادی روند منفی آب ذخیره در دسترس را توضیح می‌دهد.

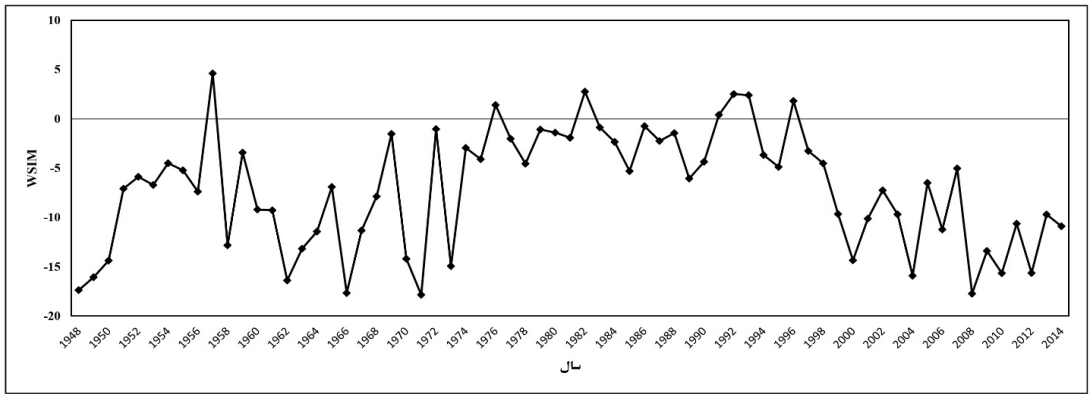
مدل امنیت آبی (WSIM) که با استفاده از داده‌های سامانه جهانی داده گواری داده‌های زمینی (GLDAS) تولید شده است نتایج قابل تأملی را از امنیت آبی ایران ارائه داده است. دوره بازگشت کمبود آب که با روش توزیع فرین تعمیم یافته (GEV) در مقیاس سالانه در شکل (۱) ارائه شده است، نشان می‌دهد که شاخص در سراسر ایران در ۶۷ سال گذشته (۲۰۱۴-۱۹۴۸) دارای بی‌هنجاری منفی است. بی‌هنجاری منفی در این مدل نشان دهنده افزایش فراوانی سال‌هایی با رخداد کم آبی در سطح منطقه است. به‌عبارت ساده‌تر بی‌هنجاری منفی مدل WSIM مبین تشدید تنش آبی و افزایش فراوانی رخدادهای کم‌آبی است. براساس نتایج مدل WSIM بالاترین مقدار منفی بی‌هنجاری با مقدار ۱۰/۱- سال در مناطق شرق، جنوب شرق، شمال شرق و مناطق مرکزی ایران دیده می‌شود. این مقدار بی‌هنجاری منفی قابل توجه نشان دهنده امنیت آبی پایین در این مناطق است. کمترین بی‌هنجاری کمبود آب در ایران ۵/۴۴- سال است که به شکل پراکنده در مناطق مختلف ایران دیده می‌شود. مالکی و همکاران (۱۴۰۰) با بررسی نظرات کارشناسان و پژوهشگران اهمیت نسبی شاخص‌های امنیت آبی را در ایران مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند استان‌های قم، یزد، کرمان و سیستان و بلوچستان در وضعیت بدتری از نظر امنیت آبی نسبت به سایر استان‌های کشور قرار دارند. نتایج مدل WSIM نیز امنیت آبی پایین را در این مناطق و بطور کلی در تمامی مناطق شرق ایران را تایید می‌کند. این ارزیابی از پاسخ چشم‌انداز آبی ایران به تأثیرات انسانی و تغییر اقلیم، طرحی برای ارزیابی و پیش‌بینی تهدیدهای نوظهور برای امنیت آبی و غذا را ارائه می‌دهد.

دوره بازگشت کمبود آب که با روش توزیع فرین تعمیم یافته (GEV) در متوسط پهنه‌ای کشور بررسی شد نشان داد که امنیت آبی در سال‌های اخیر در ایران به شکل قابل توجهی کاهش یافته است و متوسط پهنه‌ای بی‌هنجاری در ایران به ۱۷/۷۴- در سال ۲۰۰۸ رسیده است. همانطور که پیش‌تر نیز گفته شد در این پژوهش از شاخص کمبود آب در دسترس استفاده شد که بر این اساس روشن است که شاخص در اکثر سال‌ها مقدار منفی را ارائه دهد. بیشینه بی‌هنجاری در سال ۲۰۰۸ نتیجه بسیار مهمی را از این نظر ارائه داده است که در این سال ایران و غرب آسیا درگیر خشکسالی بسیار شدید و گسترده‌ای بوده است. طبیعتاً در چنین شرایطی فشار بر منابع آب‌های زیرزمینی به شکل قابل‌توجهی افزایش داشته است. همانطور که در تغییرات سال به سال این شاخص نیز نشان داده شده است روند بی‌هنجاری کاهشی شدیدی از پایان دهه ۱۹۹۰ در ایران وجود داشته است و در نهایت در سال ۲۰۰۸ به بیش‌ترین مقدار بی‌هنجاری خود در دوره مورد بررسی رسیده است. کاهش قابل توجه در دوره بازگشت در دهه‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ در ایران نشان دهنده افزایش تنش آبی و کاهش امنیت آبی در ایران تحت شرایط مختلف همانند رشد جمعیت، تغییرات کاربری اراضی، ناکارآمدی شیوه‌های مدیریت منابع آب و تغییر اقلیم است.



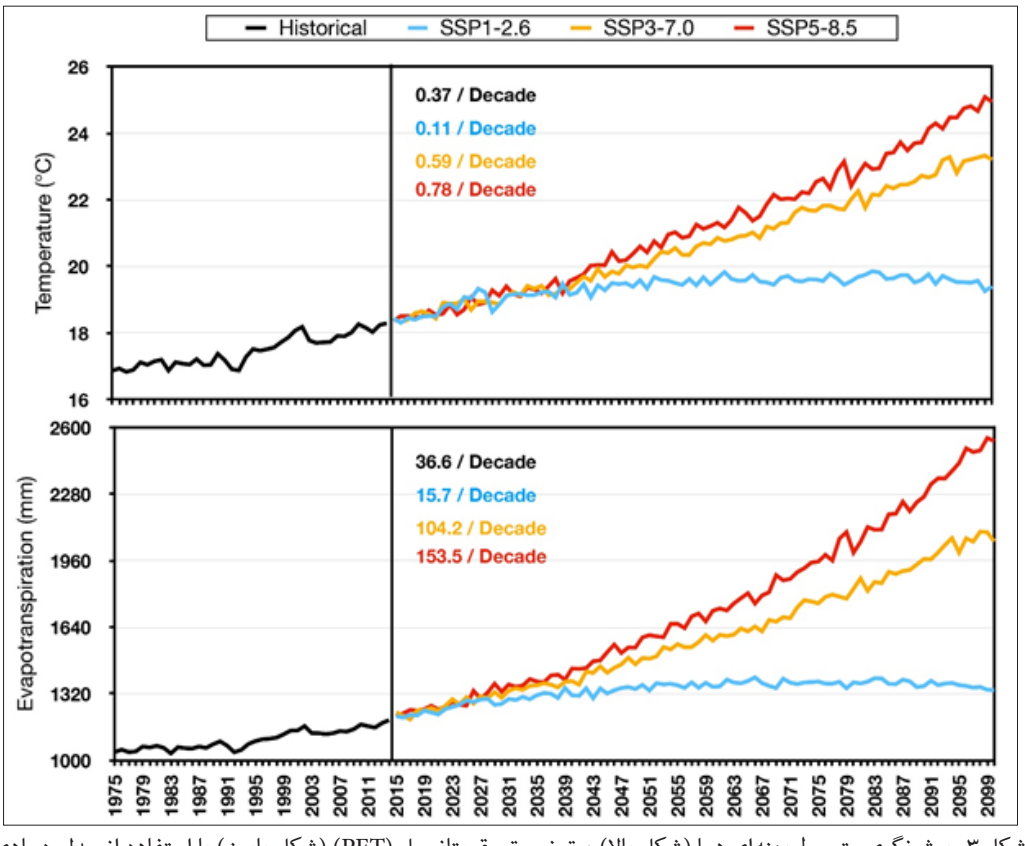
(ب) (الف)

شکل ۱- الف) آب ذخیره در دسترس از ماهواره بازیابی گرانش و آزمایش اقلیم (GRACE) طی دوره ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۶ (واحد: سانتی متر در سال)؛ ب) دوره بازگشت شاخص کمبود مدل امنیت آبی-سامانه جهانی داده‌گواری داده‌های زمینی (WSIM-GLDAS) طی دوره ۱۹۴۸ تا ۲۰۱۴ (واحد: سال)



شکل ۲- تغییرات سال به سال بی‌هنجاری شاخص کمبود مدل امنیت آبی WSIM

پیش‌نگری تغییرات آینده متغیرهای اقلیمی، به ویژه دما و تبخیر-تعرق پتانسیل (PET)، برای مدیریت منابع آب، کاهش بلایا و توسعه کشاورزی حیاتی است. نتایج حاصل از چند مدلی همادی (CMIP6-MME) نشان از افزایش قابل توجه این دو متغیر اقلیمی تا پایان قرن حاضر را دارد. دما در ایران طی دوره تاریخی (۲۰۱۴-۱۹۷۵) به ازای هر دهه ۰/۳۵ درجه سلسیوس افزایش داشته است. به همین ترتیب تبخیر-تعرق پتانسیل (PET) به‌ازای هر دهه ۳۶/۶ میلی‌متر افزایش داشته است. برای هر سه سناریوی آتی، افزایش قابل توجه دما و تبخیر-تعرق پتانسیل، امنیت آبی کشور را به شکل قابل توجهی کاهش خواهد داد. دما تحت سناریوهای SSP1-2.6، SSP3-7.0 و SSP5-8.5 به‌ترتیب ۰/۱۱، ۰/۵۹ و ۰/۷۸ درجه سلیسوس تا پایان قرن حاضر افزایش خواهد داشت. به همین ترتیب PET نیز ۱۵/۷، ۱۰۴/۲ و ۱۵۳/۵ میلی‌متر دهه افزایش خواهد داشت. این افزایش قابل توجه از دما و تبخیر-تعرق پتانسیل (PET) تأثیر جدی در کاهش رطوبت خاک و افزایش تبخیر از منابع آبی (همانند سدها) خواهد شد. این تغییرات پیامدهای بلند مدت دیگری نیز دارد. افزایش دما و تبخیر-تعرق، تنش آبی گیاه را در بخش کشاورزی و به‌خصوص کشاورزی دیم به دنبال خواهد داشت و ممکن است باعث تغییر نوع کشت محصولات کشاورزی از کشاورزی دیم به کشاورزی آبی و یا حتی رها سازی زمین کشاورزی شود؛ روندی که در حال حاضر نیز در ایران در حال رخ دادن است. روشن است کشاورزی آبی وابستگی به ذخیره‌سازی مخزن و زیرساخت های آبیاری را افزایش می‌دهد. از سوی دیگر رهاشدن بیشتر زمین‌های کشاورزی دیم به‌خصوص در مناطق بدون دسترسی به آبیاری (همانند مناطق روستایی) می‌تواند منجر به افزایش مشکلات محیط‌زیست از جمله افزایش گرد و خاک شده و پیامدهای قابل توجهی بر عملکرد اکوسیستم و معیشت روستایی خواهد داشت.



شکل ۳- پیش‌نگری متوسط پهنه‌ای دما (شکل بالا) و تبخیر-تعرق پتانسیل (PET) (شکل پایین) با استفاده از مدل همادی CMIP6-MME تا پایان قرن تحت سناریوهای خوش‌بینانه (SSP1-2.6)، بدبینانه (SSP3-7.0) و خیلی بدبینانه (SSP5-8.5)

نتیجه‌گیری

برقراری تعادل پایدار بین در دسترس بودن و تقاضای آب یکی از چالش‌های اجتماعی-محیطی مهم قرن بیست و یکم است. تقاضا برای آب به دلیل رشد جمعیت و نیاز به تولید محصولات کشاورزی و انرژی در حال افزایش است (FAO[۱۵]، ۲۰۱۵؛ IEA[۱۶]، ۲۰۱۶). در همین حال، انتظار می‌رود که درصد مصرف آب جهت تولید انرژی و غذا به طور چشمگیری افزایش یابد.

عدم دستیابی به امنیت آبی و کمی سازی آن در کشورهایی همچون ایران که داده‌های مناسبی را ندارند، مانع از ارزیابی صحیح شرایط گذشته، حال و آینده منابع آب می‌شود. برای غلبه بر این چالش، استفاده از محصولات ماهواره‌ای و بازتحلیل‌ها گزینه مناسبی است. برای بررسی امنیت آبی در ایران از داده‌های آب ذخیره در دسترس از ماهواره بازیابی گرانش و آزمایش اقلیم (GRACE) و مدل امنیت آبی-سامانه جهانی داده‌گواری داده‌های زمینی (WSIM-GLDAS) استفاد شد. برای پیش‌نگری اقلیمی دما و تبخیر-تعرق پتانسیل (PET) یک مدل همادی از مدل‌های منفرد CMIP6 تولید شد. بررسی نتایج مدل WSIM نشان داد فراوانی سال‌هایی با رخداد کم آبی در ایران در حال افزایش است. بی‌هنجاری شاخص نشان داد امنیت آبی در سراسر نوار شرقی ایران از شمال شرق تا جنوب شرق و ایران مرکزی بسیار پایین است که نشان‌دهنده تشدید بیشتر تنش آبی در این مناطق از کشور است. به همین ترتیب آب ذخیره در دسترس در ایران نیز روندی سراسر منفی دارد. به‌طور کلی در متوسط پهنه‌ای ایران، آب ذخیره در دسترس ۱/۳۱- سانتی‌متر در هر سال طی دوره ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۶ کاهش داشته است. کاهش آب ذخیره در دسترس به همراه بی‌هنجاری منفی مدل امنیت آبی نشان از امنیت آبی پایین در کشور است. پیش‌نگری اقلیمی دما و PET نیز نشان از تهدیدی جدی در آینده منابع آب در کشور است.

دما در ایران طی دوره تاریخی (۲۰۱۴-۱۹۷۵) به‌ازای هر دهه ۰/۳۷ درجه سلیسوس افزایش و تبخیر-تعریق پتانسیل (PET) به ازای هر دهه ۳۶/۶ میلی‌متر افزایش داشته است. نتایج نشان می‌دهد روند افزایشی دما و تبخیر-تعریق پتانسیل (PET) طی دهه‌های آینده نیز ادامه خواهد داشت. به‌طوری‌که تحت سناریوی SSP5-8.5 دما ۰/۷۸ درجه سلسیوس/دهه و تبخیر-تعرق پتانسیل (PET) ۱۵۳/۵ میلی‌متر/دهه افزایش خواهند داشت. افزایش دما منجر به افزایش ظرفیت رطوبتی جو و افزایش شدت بارش (رابطه کلاسیوس-کلاپیرون) شده (Pall و همکاران، ۲۰۰۷) که در چنین شرایطی منجر به توزیع مجدد آب در سطح کشور می‌شود. با افزایش شدت بارش (Zarrin و Dadashi-Roudbari، ۲۰۲۱) و

همچنین افزایش دما و تبخیر-تعرق، ذخیره آب در خاک (آب سبز) کاهش می‌یابد. در مقابل آب‌های سطحی (آب آبی) روند افزایشی داشته و جریان ورودی به مخزن افزایش می‌یابد. این امر به‌طور بالقوه باعث افزایش فرسایش خاک و تنش آبی گیاه می‌شود. از سوی دیگر بر پتانسیل کشاورزی دیم که بخش قابل توجهی از کشاورزی ایران را به‌خصوص برای گندم به خود اختصاص می‌دهد تأثیر منفی می‌گذارد. این نتیجه اهمیت تأثیر تغییر اقلیم را بر توزیع مجدد آب بین آب سبز و آب آبی، افزایش فرسایش خاک و در نتیجه کاهش امنیت آبی را نشان می‌دهد. لذا ضروری است تا اقدامات سازگاری با تغییر اقلیم با هدف افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک (آب سبز) و حفظ ظرفیت ذخیره‌سازی مخازن (آب آبی) جدی گرفته شود.

نتایج سناریوهای مختلف SSP احتمال رخداد بحران‌های مکرر آب را در آینده ایران نشان می‌دهد. لذا برای برنامه‌ریزی قوی امنیت و تاب‌آوری آب باید تغییر اقلیم به‌عنوان یک مسئله کلیدی در نظر گرفته شود. مشخص است که بدون اولویت‌های سیاستی قوی و کارآمد، مدیریت ریسک اقلیمی (CRM)[17] و ضرورت تدوین و اجرای برنامه های سازگاری ملی (NAPs)[18] (زرین و داداشی رودباری، ۱۴۰۱) پیامدهای بحران آب در ایران تا حد زیادی گسترش خواهد یافت و بی‌توجهی به اقلیم و تغییرات آن میتواند خسارات اجتماعی، محیط‌زیستی و اقتصادی قابل توجهی را به‌خصوص در زمان تشدید رخداد فرین‌های اقلیمی ایجاد کند. برای رسیدگی به چالش‌های امنیت آبی در شرایط تغییر اقلیم و گنجاندن ابعاد اجتماعی، اقتصادی و محیط‌زیستی در مقیاس‌های مختلف رویکردهای کلی‌نگر اهمیت زیادی دارند. رویکردهای کل نگر می‌توانند به‌عنوان یک تسهیل‌گر برای پیشرفت در بسیاری از بخش‌ها مانند سلامت عمومی، امنیت انرژی، سازگاری با تغییر اقلیم، کاهش فقر و سرعت بخشیدن به دستیابی به اهداف توسعه پایدار (SDGs) عمل کنند. به‌طورکلی، نتایج این پژوهش شکنندگی امنیت آبی را در ایران آشکار کرده و با ارائه اطلاعات فنی و علمی می‌تواند جهت هدایت برنامه‌ها (همانند برنامه هفتم توسعه کشور) و استراتژی‌های منطقه‌ای برای مقابله با کمبود آب در آینده استفاده شود.

پی‌نوشت

1-Sustainable Development Goals (SDGs)
2-United Nations Water
3-Intelligence Community Assessment (ICA)
4-Middle East and North Africa (MENA)
5-The Water Security Indicator Model - Global Land Data Assimilation System (WSIM-GLDAS)
6-Generalized Extreme Value (GEV)
7-Terrestrial water availability storage
8-Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE)
9-Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6)
10-Potential Evapotranspiration (PET)
11-Individual model
12-Ensemble Model
13-Independence Weighted Mean (IWM)
14-Multi-model ensemble (MME)
15-Food and Agriculture Organization (FAO)
16-International Energy Agency (IEA)
17-Climate Risk Management (CRM)
18-National Adaptation Plans (NAPs)

منابع

اسماعیلی‌نژاد، ا. و داوری، ک. ۱۳۹۹. مدیریت تخصیص آب در ایران، بیراهه‌ای در گذر زمان. آب و توسعه پایدار، ۷(۲): ۲۳-۳۲. jwsd.v7i2.85262/10.22067

زرین، آ. و داداشی رودباری، ع. ۱۴۰۰. پیش‌نگری دوره‌های خشک و مرطوب متوالی در ایران مبتنی‌بر برونداد همادی مدل‌های تصحیح شده اریبی CMIP6. فیزیک زمین و فضا، ۴۷(۳): ۵۶۱-۵۷۸. jesphys.2021.319270.1007295/10.22059

زرین، آ. و داداشی رودباری، ع. ۱۴۰۱. مدیریت ریسک اقلیمی (CRM) و ضرورت تدوین و اجرای برنامه‌های سازگاری ملی (NAPs). آب و توسعه پایدار، ۹(۱): ۸۵-۹۴. jwsd./10.22067 v9i1.2111.1095

مالکی، ن.، شاکری بستان آباد، ر.، صالحی کمرودی، م. و سیدآبادی، س. ۱۴۰۰. بررسی وضعیت شاخص ترکیبی امنیت آبی استان‌های ایران در بازه ۱۳۹۰-۱۳۹۵: کاربردی از روش‌های تحلیل چندمعیاره. آب و توسعه پایدار، ۸(۲): ۲۱-۳۲. jwsd.v8i2.1028/10.22067

مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی. ۱۴۰۰. بررسی تحلیلی شرایط موجود و تبیین وضعیت آینده بحران آب در کشور. شماره مسلسل: ۱۸۰۶۷، کد موضوعی ۲۵۰. تاریخ انتشار ۱۴۰۰/۱۱/۱۹. تهران، ایران.

2030 Water Resources Group. 2009. Charting Our Water Future: Economic Frameworks to Inform Decision-Making. Accessed January 1, 2023. http://www.2030wrg.org/wp-content/uploads/2014/07/Charting-Our-Water-Future-Final.pdf

Water, 13(4): 490. 10.3390/w13040490.

Pall P., Allen M. R. and Stone D. A. 2007. Testing the Clausius–Clapeyron constraint on changes in extreme precipitation under CO2 warming. Climate Dynamics, 28(4): 351-363. 10.1007/s00382-006-0180-2

Patrick H. O. 2020. Climate change, water security, and conflict potentials in South Africa: Assessing conflict and coping strategies in rural South Africa. Handbook of climate change management: Research, leadership, transformation, 1-18.

Rodell M., Famiglietti J. S., Wiese D. N., Reager J. T., Beaudoing H. K., Landerer F. W. and Lo, M. H. 2018. Emerging trends in global freshwater availability. Nature, 557(7707): 651-659. 10.1038/s41586-018-0123-1

Rodell M., Houser P.R., Jambor U.E.A., Gottschalck J., Mitchell K., Meng C.J., Arsenault K., Cosgrove B., Radakovich J., Bosilovich M. and Entin, J.K. 2004. The global land data assimilation system. Bulletin of the American Meteorological society, 85(3): 381-394. 10.1175/BAMS-85-3-381

UN-Water, 2013. Analytical Brief on Water Security and the Global Agenda. Accessed January 1, 2023. http://i.unu.edu/media/unu.edu/publication/34287/UNWater_watersecurity_analyticalbrief.pdf.

World Bank. 2007. Making the Most of Scarcity Accountability for Better Water Management in the Middle East and North Africa.: World Bank. Washington, DC. USA.

Yeates E., Wahl M., Geheran M.P., Christensen S.D., Mahbubur R., Brown D.T., Baston D.P. and Parris, T.M. 2020, December. Decision Support Tools to Communicate Hydrologic Anomalies and Impacts. In AGU Fall Meeting Abstract, Vol. 2020: 26-08. https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2020AGUFMSY028..02Y/abstract

Zarrin A. and Dadashi-Roudbari, A. 2021. Projection of future extreme precipitation in Iran based on CMIP6 multi-model ensemble. Theoretical and Applied Climatology, 144(1): 643-660. 10.1007/s00704-021-03568-2

Zawahri N. A. 2017. Water security in the Middle East, Anthem Press, Tufts University, USA.

Babel M. S., Shinde V. R., Sharma D. and Dang N. M. 2020. Measuring water security: A vital step for climate change adaptation. Environmental Research, 185: 109400. 10.1016/j.envres.2020.109400

Bai H., Xiao D., Wang B., Liu D. L., Feng P. and Tang, J. 2021. Multi-model ensemble of CMIP6 projections for future extreme climate stress on wheat in the North China Plain. International Journal of Climatology, 41: 171-186. 10.1002/joc.6674

Chellaney B. 2011. Water: Asia's new battleground, volume 1. Georgetown University Press. Washington, D.C, USA.

Crawford J., Venkataraman K. and Booth J. 2019. Developing climate model ensembles: A comparative case study. Journal of hydrology, 568: 160-173. 10.1016/j.jhydrol.2018.10.054

Fonseca A., Andrade C. and Santos J. A. 2022. Agricultural Water Security under Climate Change in the Iberian Peninsula. Water, 14(5): 768. 10.3390/w14050768

Food and Agriculture Organization (FAO). 2015. The State of Food Insecurity in the World 2015, Intl. Food for Agric. Dev. World Food Program. Rome, Italy.

Hameed M., Moradkhani H., Ahmadalipour A., Moftakhari H., Abbaszadeh P. and Alipour, A. 2019. A review of the 21st century challenges in the food-energy-water security in the Middle East. Water, 11(4): 682. doi: 10.3390/w11040682.

Intelligence Community Assessment. 2012. Global Water Security. February. Accessed January 1, 2023. https://www.dni.gov/files/documents/Special%20Report_ICA%20Global%20Water%20Security.pdf.

International Energy Agency (IEA). (2016) World Energy Outlook 2016 Energy Access Database, Cedex, France. Accessed January 1, 2023, available at: http://www.iea.org/weo. last access: 20 January 2020.

Jianyun Z., Guoqing W., Yang Y., Ruimin H. and Jiufu L. 2009. Impact of climate change on water security in China. Advances in Climate Change Research, 5(00): 34.

Mishra B. K., Kumar P., Saraswat C., Chakraborty S. and Gautam, A. 2021. Water security in a changing environment: Concept, challenges and solutions.